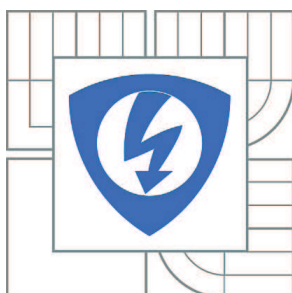


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ**

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

PŘEPÍNAČ STEREOFONNÍCH NÍZKOFREKVENČNÍCH SIGNÁLŮ

SWITCH STEREO LOW FREQUENCY SIGNALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

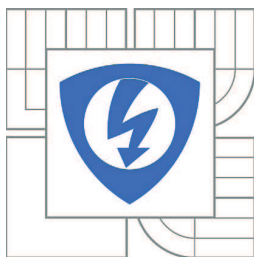
VÁCLAV LUKESLE

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EDITA HEJÁTKOVÁ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Václav Lukesle

ID: 125119

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Přepínač stereofonních nízkofrekvenčních signálů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a zrealizujte nízkofrekvenční stereofonní přepínač signálů se 4 vstupy. Každý z nich bude vybaven předzesilovačem pro nastavení citlivosti. Přepínač bude doplněn o desetipásmový ekvalizér umožňující korekci signálu ve frekvenčním rozsahu 20 Hz - 20 kHz.

Napájecí napětí bude 230 V/ 50 Hz. Celé zařízení bude podrobně zdokumentováno.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Edita Hejátková

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a realizací nízkofrekvenčního předzesilovače s přepínatelnými vstupy a s výstupním ekvalizérem. V úvodu práce se čtenář teoreticky seznámí s jednotlivými principy zesilování signálů v nízkofrekvenční technice. Realizace ekvalizéru využívá tzv. gyrátor pro nastavení rezonanční frekvence. Na této frekvenci je umožněno potenciometrem měnit jakost a tím přenosovou charakteristiku obvodu. Výsledkem je poměrně široká variabilita úpravy signálu, včetně jeho výběru ze čtyř možných zdrojů. Součástí práce jsou simulace, naměřené hodnoty, DPS a rozpiska elektrických součástek.

Klíčová slova:

Nízkofrekvenční signál, ekvalizér, rezonanční obvod, gyrátor, simulace, DPS – deska plošných spojů

Abstract

The work proposes steps for fabricating low-frequency preamplifier including switchable inputs and the output equalizer. In the beginning of the thesis theoretical principles of amplifying the low-frequency signals are introduced. For setting the resonance frequency of equalizer the gyrator filter has been used. By setting the aforementioned frequency and tuning the potentiometer we are able to change the quality factor as well as the gain of the entire circuit. Benefit of this work is a large flexibility for tuning the output signal including a possibility of selection of four various inputs. Simulation and measurement results, PCB and a summary of discrete components are finally attached.

Keywords

Low frequency signal, equalizer, resonant circuit, gyrator, simulation, PCB (printed circuit board)

Bibliografická citace:

LUKESLE, V. *Přepínač stereofonních nízkofrekvenčních signálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 23 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Edita Hejátková.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „ Přepínač stereofonních nízkofrekvenčních signálů “ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne 31.5.2012

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Editě Hejátkové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 31.5.2012

.....
podpis autora

Obsah

Úvod	1
1. Teoretický rozbor	2
1.1 Předzesilovače	2
1.1.1 Předzesilovače	2
1.1.2 Korekční zesilovače	2
1.1.3 Výkonové zesilovače	3
1.2 Pasivní frekvenční filtry	4
1.2.1 Integrační a derivační články	5
1.2.2 Rezonanční obvody	7
1.3 Aktivní frekvenční filtry	8
1.4 Operační zesilovače	8
1.4.1 Typická zapojení s OZ	9
1.4.2 Syntetická indukčnost	10
2. Popis zapojení	11
2.1 Předzesilovač	11
2.2 Výstupní ekvalizér	13
2.3 Indikace vybuzení	15
2.4 Zdroje napětí	17
2.4.1 Zdroj symetrického napětí	17
2.4.2 Zdroj nesymetrického napětí	17
2.5 Desky plošných spojů	18
3. Měření	19
4. Mechanické provedení	20
5. Závěr	21
6. Seznam použité literatury a zdrojů informací	22
7. Seznam příloh	23

Seznam obrázků

Obr. 1 Integrační a derivační článek	5
Obr. 2 Frekvenční charakteristika integračního článku (dolní propusti)	6
Obr. 3 Frekvenční charakteristika derivačního článku (horní propusti)	6
Obr. 4 Sériový rezonanční článek	7
Obr. 5 Modulová frekvenční charakteristika SRO	7
Obr. 6 Vnitřní zapojení operačního zesilovače NE5532 [3]	9
Obr. 7 Operační zesilovač v inverující a neinverující zapojení [6]	10
Obr. 8 Derivační článek a integrační článek s operačním zesilovačem	10
Obr. 9 Zapojení syntetického induktoru	11
Obr. 10 Zapojení vstupního předzesilovače	12
Obr. 11 Deska plošných spojů pro předzesilovač	13
Obr. 12 Simulací zjištěná korekční schopnost ekvalizéru	14
Obr. 13 Modulová frekvenční charakteristika (potenciometry ve střední poloze)	15
Obr. 14 Schéma kaskádové indikace vybuzení	16
Obr. 16 Kmitočtové charakteristiky získané z naměřených hodnot	19
Obr. 17 Ukázka použité přístrojové krabice [8]	20

Úvod

Práce se zabývá návrhem a realizací ekvalizéru doplněného o přepínač stereofonních vstupů. Při návrhu je možné využít širokou škálu možností. Pro přepínání může sloužit dvojité přepínač, kterým bude procházet užitečný signál. Jiné sofistikovanější řešení může být využití kombinace přepínače a relé. Přepínání signálu se také realizuje pomocí tranzistorů ať bipolárních nebo unipolárních. Existuje také monolitický obvod, který je schopen plnit požadavky na přepínání až ze čtyř možných zdrojů nízkofrekvenčních stereofonních signálů. Tento obvod TDA1029 [11] je ve výrobním programu firmy Philips (NXP). Při realizaci bylo ovšem využito kombinace otočného přepínače a elektromechanického relé.

Provedení ekvalizéru připomíná tzv. grafický ekvalizér, kde poloha potenciometrů naznačuje průběh upravené frekvenční charakteristiky. Realizace ekvalizéru je možná při využití integrovaného obvodu LMC835 [1]. Tento monolitický obvod od firmy National Semiconductor je řízen digitálně a umožňuje sestavení stereofonního sedmi-pásmového ekvalizéru. Při hledání možných řešení byla nalezena celá řada obvodů, zabývajících se úpravami signálů v kmitočtovém pásmu, ovšem nejčastěji se vyskytující integrované obvody dovolují úpravu signálu pouze v pěti pásmech.

Výsledné zapojení se skládá z množství nízkošumových zesilovačů NE5532A [3]. Jedná se o duální operační zesilovače dostupné v pouzdru SO8 (Small Outline package). Jejich využití v zapojení je různé, od předzesilovače až po vytvoření syntetické indukce (tzv. gyrátor) potřebné pro správnou funkci rezonančních článků umožňující regulaci výstupních kmitočtových charakteristik. Celé zařízení je čistě analogové a o jeho návrhu a funkci pojednává text na dalších stránkách.

1. Teoretický rozbor

1.1 Předzesilovače

1.1.1 Předzesilovače

Úkolem předzesilovače je zesílit příchozí signál, který pak je dalšími obvody zpracováván. Provedení předzesilovače je nutné realizovat v souladu s požadavkem na jeho velký vstupní odpor, aby nadměrně nezatěžoval vstupní obvod a zároveň splnit požadavky na nízký šum především aktivních součástí. Při použití klasických diskrétních součástek (bipolárních tranzistorů) se předzesilovače zapojují ve třídě A. V této třídě je pracovní bod tranzistoru nastaven doprostřed zatěžovací charakteristiky. To má za následek výbornou citlivost na vstupní signály malých úrovní, ale účinnost takového stupně je velmi nízká (proud protéká i při nezapojeném vstupním signálu). Pro předzesilovače je možné samozřejmě použít i tranzistory řízené elektrickým polem (FET). Další možností při realizaci předzesilovače je operační zesilovač. O jejich dalších vlastnostech a zapojení bude řeč v samostatné kapitole 1.4.

1.1.2 Korekční zesilovače

Obvyklá zapojení vycházejí z kategorie předzesilovačů. Díky zavedené zpětné vazbě se část zesíleného signálu vrací zpět na vstup aktivního prvku a tím mění parametry zesilovacího bloku. Zpravidla se zavedením odporové záporné zpětné vazby snižuje celkové zesílení a zároveň se zvětšuje šíře přenášeného pásma. Je možné mít ovšem i kmitočtově závislé zpětné vazby, které se používají například pro magnetodynamické přenosky (R.I.A.A. (The Recording Industry Association of America)). Takový korekční předzesilovač má na výstupu lineární signál, protože zavedená kmitočtově závislá zpětná vazba mění přenášené pásmo pro optimalizaci výstupního signálu z přenosky. Doporučený průběh frekvenční charakteristiky udává norma a přenosová charakteristika je inverzní vůči charakteristice magnetodynamické přenosky.

Jiný příklad korekčního zesilovače je obvod, ve kterém jsou ve zpětné vazbě spolu s funkčními prvky zapojeny i potenciometry. Nejjednodušší řešení obsahuje dva potenciometry, které se přímo účastní změny frekvenčního pásma. V podstatě je vstupní signál rozdělen, zpracován (posílen nebo utlumen) filtračními obvody a následně opět sečten na bázi tranzistoru nebo operačního zesilovače (OZ v zapojení jako sumační člen). Takové zapojení umožňuje korekci pásma v oblasti hloubek a v oblasti výšek. Frekvence blízké 1 kHz procházejí obvodem nezměněny. U složitějších korekčních zesilovačů přibývá možnosti

regulace frekvenčního pásma, přičemž vrcholem jsou studiové ekvalizéry (od šesti pásmových korekcí výše).

1.1.3 Výkonové zesilovače

Výkonové nízkofrekvenční zesilovače se podle typů zapojení dělí do několika tříd.

- Třída A
- Třída B
- Třída AB
- Třída D a T
- Třída H
- Třída E

Jak bylo uvedeno v kapitole o předzesilovačích, třída A se pro výkonové aplikace vlivem nízké účinnosti nepoužívá. Více se používá třída AB, kde je pracovní bod umístěn do oblasti, kde již malá změna vstupního napětí způsobí změnu výchylky na výstupu. Zapojení využívá kombinaci komplementárních tranzistorů (opačné vodivosti, ale stejné parametry). Každý tranzistor pak zesiluje právě jednu půlvlnu signálu. Třída B nebývá v praxi moc používaná, jelikož je pracovní bod umístěn v oblasti, kde reaguje až na vyšší úroveň vstupního signálu (cca 300 mV – 700 mV) a proto tyto zesilovače mají silné nelineární zkreslení při průchodu signálu nulovou úrovní (pracovní bod je nastaven na nulový klidový proud tranzistory).

Mezi další třídy zesilovačů používaných pro akustické signály patří třída D. Takové zesilovače se označují jako digitální. Výstupní tranzistory pracují jako spínače (tranzistor je buď uzavřen, nebo je v saturaci). Signál je na začátku převeden na digitální, poté je zesílen a nakonec převeden na analogový signál. Výhodnou vlastností je velká účinnost, která přesahuje 80 %. Vlivem dvojnásobného převodu A/D a D/A se ve výstupním signálu mohou projevit kvantifikační odchylky, jež jsou vnímány jako nelineární zkreslení. Tyto nedostatky ovšem řeší třída T, která má vylepšenou technologii řízení oproti třídě D (účinnost dosahuje až 90 %).

Zesilovače třídy H [6] sledují velikost vstupního signálu a při potřebě vyššího výstupního výkonu jsou schopny změnit napájecí zdroj na vyšší úroveň napětí. To je buď získáváno ze speciálního zdvojeného zdroje anebo se vyšší napájecí napětí, ve spolupráci s řídicí elektronikou, získává z elektrolytických kondenzátorů vysoké kapacity (platí při

napájení z akumulátorů). Samotné zapojení výkonových stupňů je ve třídě AB, ovšem účinnost bývá lepší oproti samotné třídě AB.

Podobně jako třída H i třída E vyvinutá společností Sony používá změnu napájecího napětí. Zesilovač pracuje podobně jako třída A (pracovní bod je uprostřed zatěžovací charakteristiky), avšak poloha zatěžovací charakteristiky je plovoucí (spojitá). Tím je dosaženo výrazně lepší účinnosti, než dosahuje samotná třída A. Celý proces řídí poměrně složitá elektronika. Je-li na vstupu zjištěna vyšší úroveň signálu, než je zesilovač schopný bez zkreslení zpracovat, zvedne se napájecí napětí o patřičnou úroveň. Při požadavku na nízký výstupní výkon se automaticky zmenšuje i napájecí napětí výstupních tranzistorů. Toto řešení se objevuje v zařízeních napájených akumulátory.

Všechny uvedené typy zesilovačů musí splňovat následující požadavky [11]:

- Minimální zkreslení výstupního signálu (lineární, harmonické a intermodulační)
- Lineární frekvenční charakteristika
- Vstupní impedance
- Vstupní citlivost
- Výstupní impedance
- Výstupní výkon
- Činitel tlumení
- Vnitřní odpor zesilovače

1.2 Pasivní frekvenční filtry

Frekvenční filtry mají schopnost upravovat přenášené frekvenční pásmo. Zapojení frekvenčních filtrů využívá jednoduchých imitančních jednobranů (cívka, odpor, kondenzátor). Při návrhu frekvenčních filtrů je rozhodující jaký výkon bude filtrován. Pokud realizujeme pasivní frekvenční výhybku pro reproduktorovou soustavu, použité součástky musí být dimenzovány na patřičný výkon. Například třípásmová reproduktorová soustava bývá zapojena tak, že hloubkový reproduktor je v sérii s cívkou bez jádra (speciální typy cívek pro tzv. subwoofery železné jádro mají (vyšší indukčnost = nižší kmitočty)). Výhybka pro středový reproduktor obsahuje dva kondenzátory a výkonový odpor, výškový reproduktor je zapojen s jedním kondenzátorem a výkonovým odporem (odpor, kondenzátor a výškový reproduktor jsou v sérii). Při použití frekvenčních výhybek se do reproduktorů dostává jen ta část signálu, na který je daný reproduktor konstrukčně připraven. Zároveň je díky použití

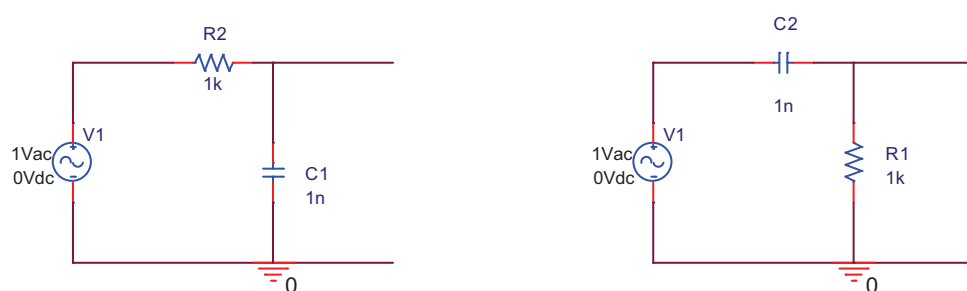
výkonových rezistorů zajištěno, že impedance reproduktoru neklesne pod kritickou úroveň jmenovité impedance a tím nehrozí zničení koncových stupňů výkonového koncového zesilovače (např. piezoelektrické měniče mají na vyšších kmitočtech tak nízkou impedanci, že při vynechání výkonového odporu může dojít k destrukci jak reproduktoru, tak výkonového koncového stupně).

1.2.1 Integrační a derivační články

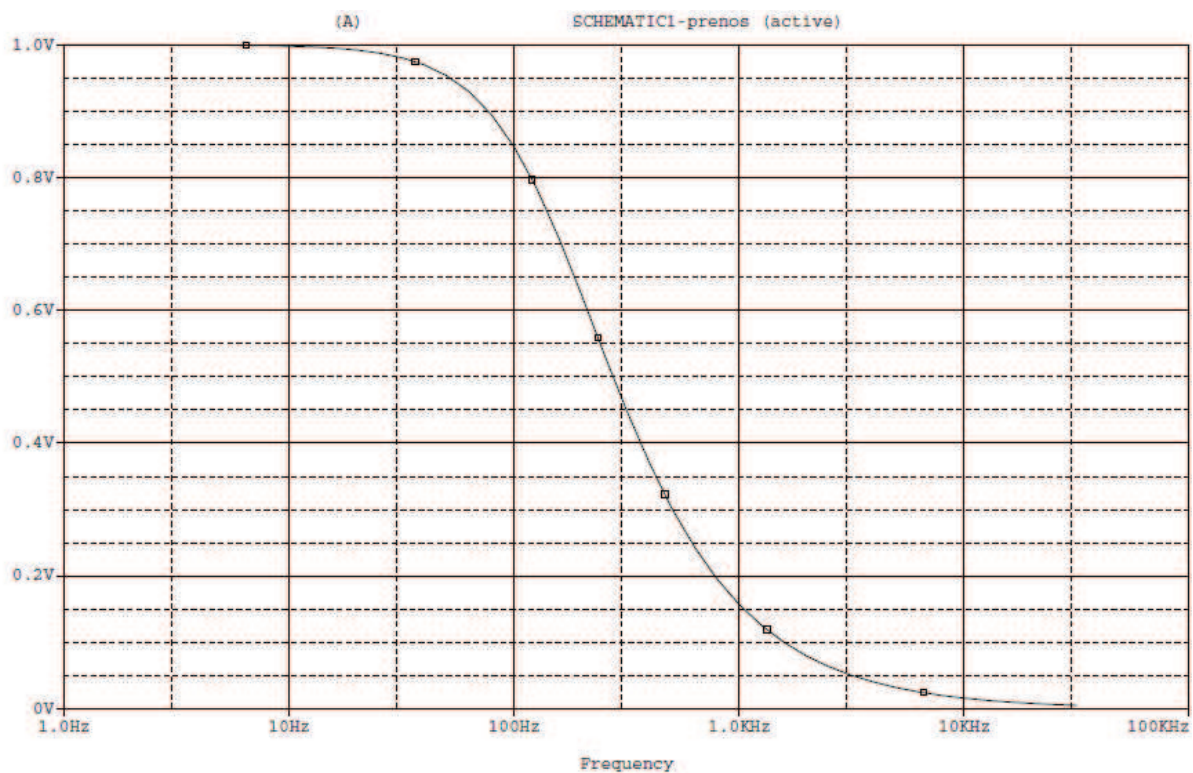
Mezi nejčastější filtry používané v elektroakustice patří horní a dolní propust (derivační a integrační článek). Modulové frekvenční charakteristiky jsou na obrázku 2 a 3. Z frekvenčních charakteristik vyplývá, že existuje frekvence, na které přenos klesá o polovinu výkonu (-3 dB). Takový kmitočet se nazývá mezní frekvence a dá se vyjádřit následujícím vztahem [1]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} [Hz] \quad (1)$$

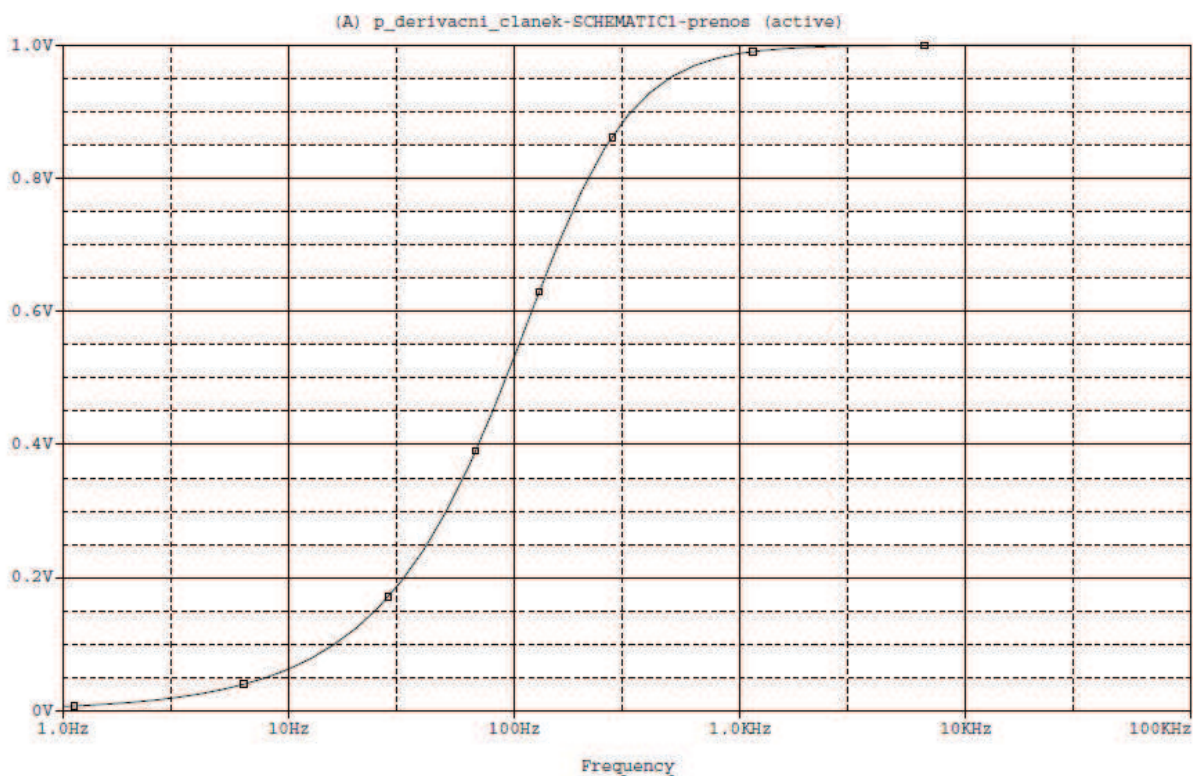
Uvedené integrační a derivační články mají strmost 20 dB / dek. (6 dB / okt.). Při potřebě lepší selektivity (vyšší strmosti) je třeba řadit tyto články kaskádově za sebe. Na tuto problematiku lze naléznout tabulky s doporučenými hodnotami součástek pro daný typ filtru (např. Bessel, Čebyšev, Butterwoth). Tyto filtry se většinou zapojují ve spolupráci s operačními zesilovači, a pak se již řadí do kategorie aktivních filtrů.



Obr. 1 Integrační a derivační články



Obr. 2 Frekvenční charakteristika integračního článku (dolní propusti)



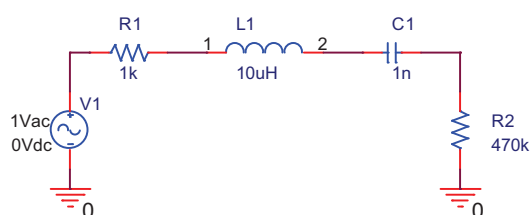
Obr. 3 Frekvenční charakteristika derivačního článku (horní propusti)

1.2.2 Rezonanční obvody

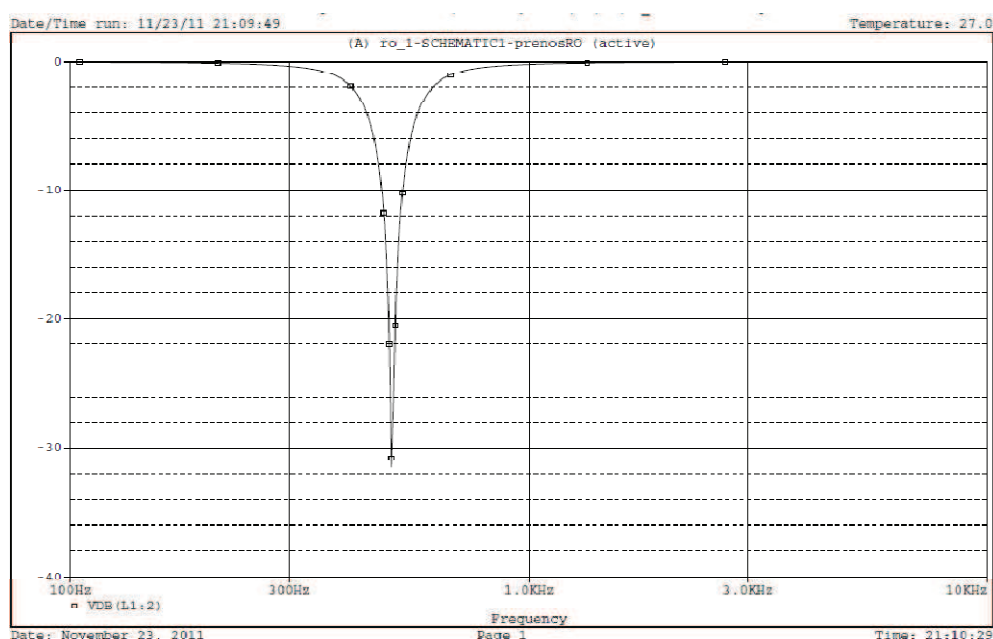
Dalším typem jsou rezonanční obvody. V jejich zapojení se využívá obou rozdílných typů zásobníků energie (kondenzátor a cívka). Rezonanční obvody mají na rezonančním kmitočtu pouze odporový charakter a těchto vlastností se využívá k úpravě frekvenčních charakteristik. Charakter rezonančního obvodu se mění s frekvencí. Pod rezonančním kmitočtem vykazuje RLC článek kapacitní charakter impedance a naopak nad rezonančním kmitočtem převládá indukční charakter impedance. Rezonanční kmitočet popisuje rovnice [2] (Thomsonův vztah):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad (2)$$

Například v audiotechnice se objevuje sériový rezonanční článek (obr. 4), jež je schopen potlačit určité frekvence (savý obvod). To vede k odstranění akustické zpětné vazby, ke které dochází při použití mikrofону a reproduktorů v nevhodném uspořádání.



Obr. 4 Sériový rezonanční článek



Obr. 5 Modulová frekvenční charakteristika SRO

1.3 Aktivní frekvenční filtry

Aktivní filtry využívají pasivních frekvenčních filtrů, které jsou zapojeny do zpětnovazebního obvodu. Aktivní součástkou může být buď tranzistor, nebo v dnešní době častěji operační zesilovač. Aktivní součástka může být v zapojení jako zesilovač nebo jako oddělovací člen ($A_u = 1$). V nízkofrekvenční technice se velice často využívají aktivní filtry. Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole 1.2.1, díky aktivním filtrům je možné využívat i složitější zapojení (např. Besselových) filtrů. Aktivní filtry pracují s nízkým signálem, proto je kladen důraz na šumové vlastnosti všech použitých součástek. Mezi aktivní filtry lze zařadit i některé typy korekčních zesilovačů. Výhoda těchto filtrů je zřejmá, výstup může být na požadovaných frekvencích i zesílen oproti pasivním filtrům, které energii pouze spotřebovávají (v závislosti na frekvenci).

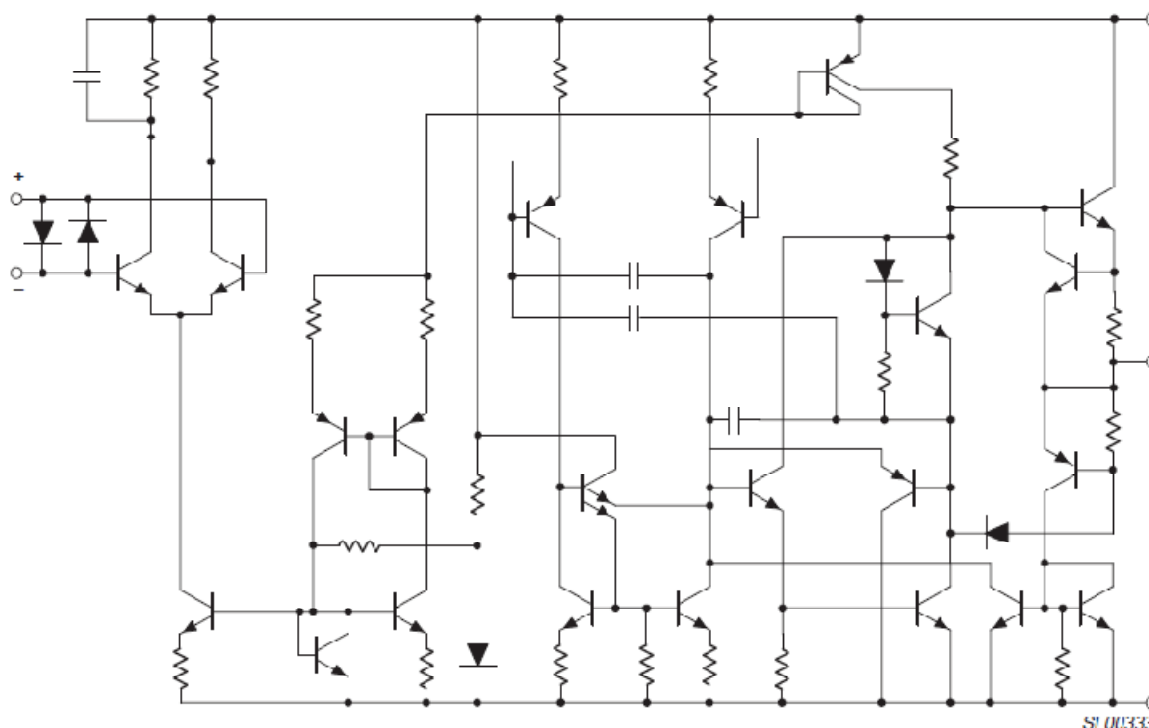
Mezi aktivní filtry se řadí i ekvalizéry. Ty umožňují měnit kmitočtové pásmo na více frekvencích. Používají se při koncertech ve studiích a tak dále. Ekvalizéry umožňují upravovat přenášené pásmo ve velkém rozsahu. Lze také odstraňovat akustickou zpětnou vazbu. Pokud pomineme možnost korekce pásma směrem k věrnější reprodukci, tak s těmito zvukovými zařízeními můžeme upravit zvuk na různé efekty, například zvuk znějící z dálky (zastřený), telefonu apod.

1.4 Operační zesilovače

Ideální operační zesilovač splňuje následující parametry. Napěťové zesílení má být nekonečno, stejně jako šíře přenášeného pásma a vstupní odpor. Jeho výstupní odpor je nulový, stejně jako zkreslení a šum. Skutečný operační zesilovač se pouze přibližuje ideálnímu. Jeho zesílení se pohybuje mezi 10^4 - 10^5 . Vstupní odpor bývá nejméně $0,5 \text{ M}\Omega$. V případě použití unipolárních tranzistorů na vstupu může vstupní odpor být až $10^{12} \Omega$. Výstupní odpor se pohybuje od desetin do desítek Ω . Šíře pásma bývá od stovek kHz do jednotek MHz. Napájení je nejčastěji symetrické $\pm 15 \text{ V}$ [6]. Výkonové operační zesilovače mohou být napájeny i vyšším napětím. Při požadavku na nesymetrické napájení musí být v obvodu vytvořená analogová zem, která se volí jako polovina napájecího napětí.

Na obrázku 6 [3] se nachází vnitřní zapojení operačního zesilovače NE5532A. Vstupy jsou označeny symboly + (neinvertující vstup) a – (invertující vstup). Diody chrání obvod před zničením v případě přivedení vyššího napětí, než na jaký je integrovaný obvod určen (vstupní napětí má být v rozmezí $\pm 0,5 \text{ V}$). Vstupní signály se zesilují ve vstupním diferenčním zesilovači, který je napájen ze zdrojů konstantních proudů, opatřených

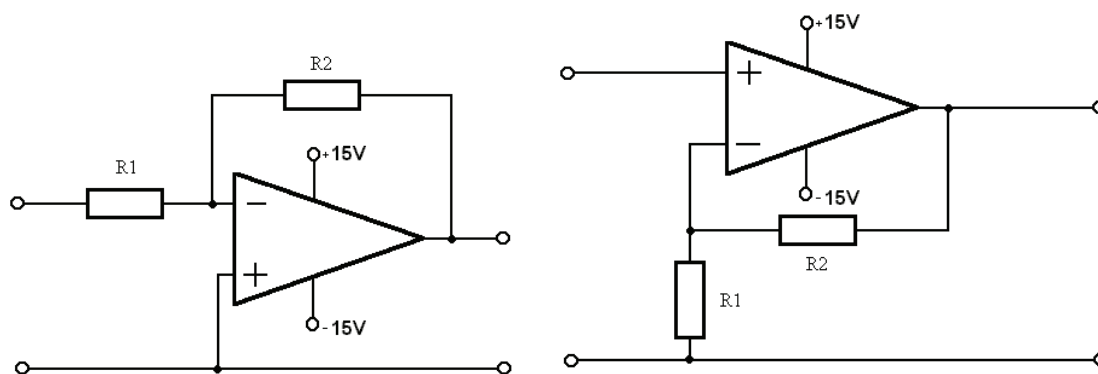
napětíovou referencí. Předzesílený signál se dále zesiluje v druhém diferenčním stupni s opačnou polovodivostí, než jakou disponuje první diferenční stupeň. Tento druhý diferenční stupeň obsahuje kondenzátory, které zajišťují stabilitu stupně a tím celého obvodu. Z výstupu se pak signál dostává na výstupní koncový stupeň, jenž obsahuje komplementární zapojení tranzistorů zatížených jednoduchým proudovým zrcadlem [5]. Zapojení má také proudovou ochranu, která omezuje výstupní proud na 10 mA.



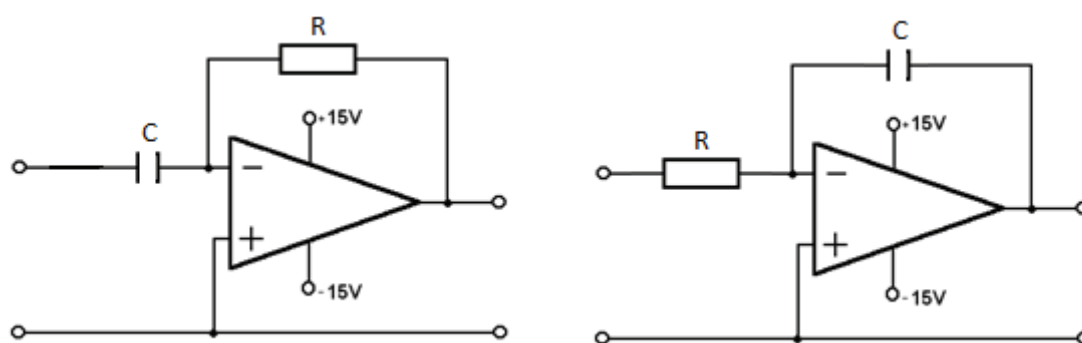
Obr. 6 Vnitřní zapojení operačního zesilovače NE5532 [3]

1.4.1 Typická zapojení s OZ

Operační zesilovače se používají pro mnoho účelů. Lze je zapojit jako komparátory napětí, jako zesilovače invertující (výstup má oproti vstupu opačnou polaritu), neinvertující, jako sumační či rozdílové zesilovače a další. Obrázek 7 ukazuje základní invertující a neinvertující zapojení. Na obrázku 8 je ukázka derivačního a integračního článku. Tyto články jsou základní stavební jednotkou aktivních filtrů. V nízkofrekvenční technice se OZ také využívají se zavedenou kladnou vazbou pro generátory průběhů.



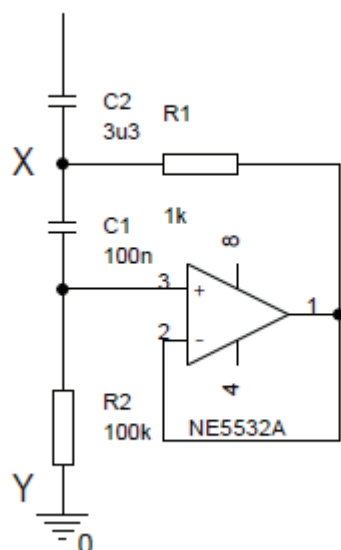
Obr. 7 Operační zesilovač v inverujícím a neinvertujícím zapojení [6]



Obr. 8 Derivační článek a integrační článek s operačním zesilovačem

1.4.2 Syntetická indukčnost

Na obrázku 9 je uvedeno zapojení rezonančního obvodu se syntetickým induktorem (gyrátor – impedanční převodník). Vlastní syntetický induktor se nachází mezi písmeny X a Y. Jeho funkce je následující: při přivedení kladné půlvlny signálu se přes kondenzátor C2 vytvoří záporná půlvlna napětí v bodě X. Ta je kondenzátorem C1 opět převedena na vlnu kladnou a jako taková vstupuje do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače. Operační zesilovač má jednotkové zesílení, a proto se přes rezistor R1 do bodu X přenáší kladná půlvlna. Zapojení funguje opačně s přicházející zápornou půlvlnou. Mezi body X a Y zapojení chová jako cívka.



Obr. 9 Zapojení syntetického induktoru

2. Popis zapojení

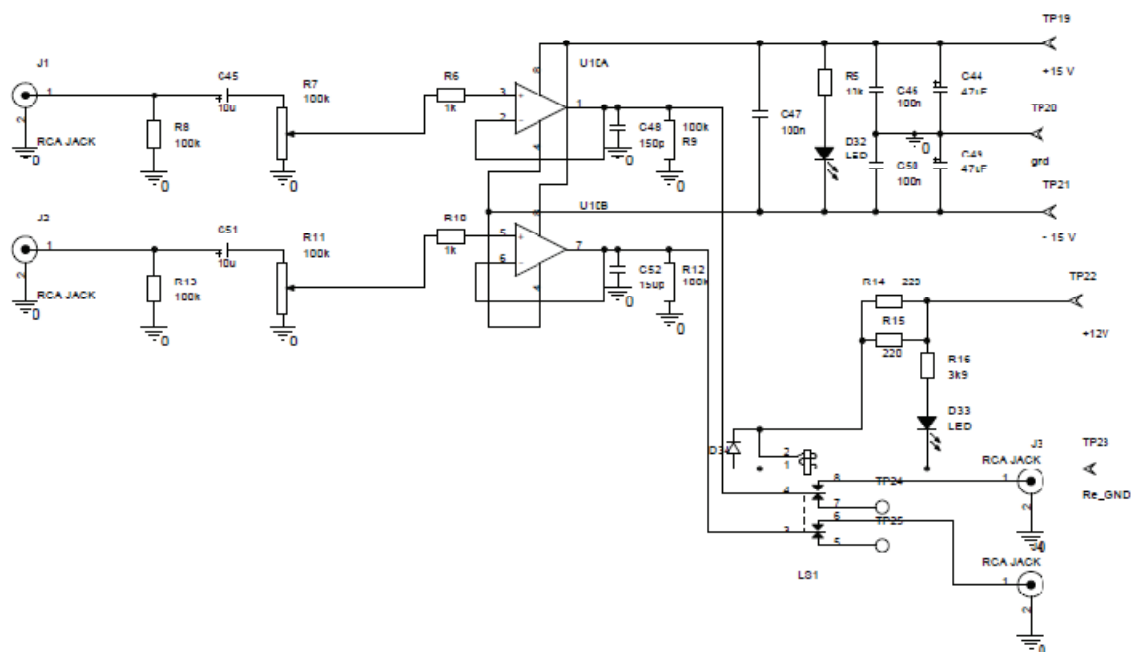
2.1 Předzesilovač

Zapojení vychází z doporučeného katalogového zapojení obvodu NE5532A [3]. Jedná se o nízkošumový operační zesilovač od firmy Philips. Tyto integrované obvody nalezneme ve výrobním programu i jiných výrobců, například Texas Instruments, Fairchild Semiconductor, ON Semiconductor. Použitá verze je typu SMD (Surface Mount Device).

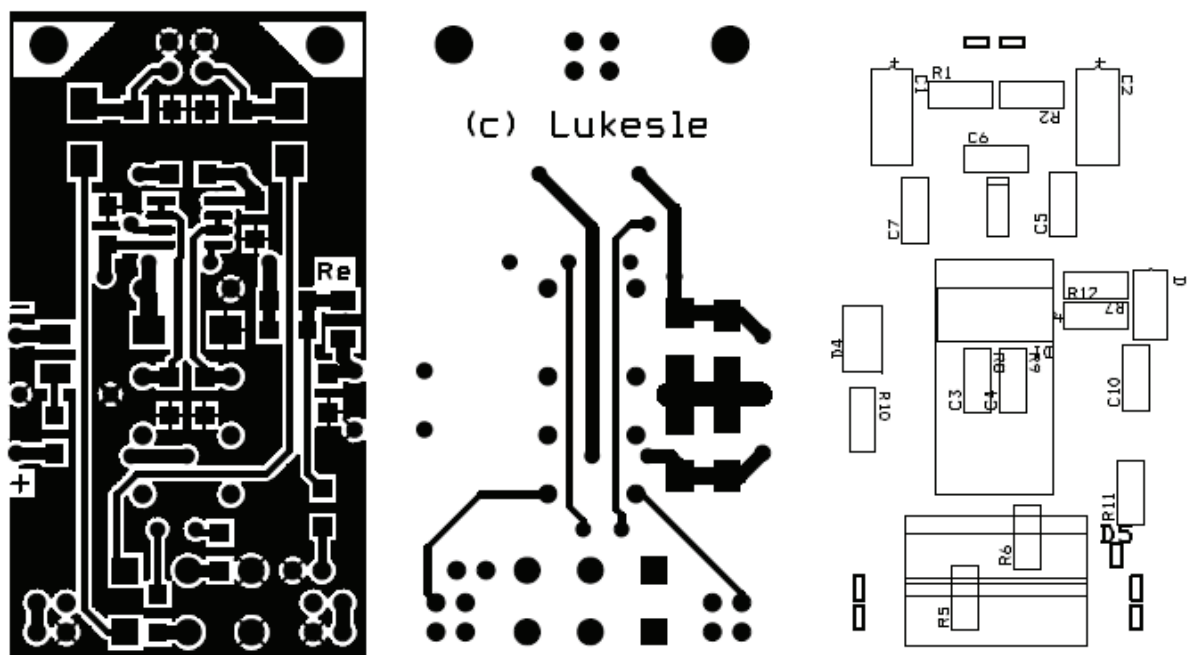
Zapojení předzesilovače se nachází na obrázku 10. Vstupní signál je přiveden konektory typu cinch (na zadním panelu se nacházejí zlacené vstupní i výstupní konektory). Na tyto konektory je napájena jednotlivě stíněná dvojlinka, přes kterou se signál dostává na desku předzesilovače. Vstupní odpor předzesilovače je nastaven rezistory R8, R13 na hodnotu 100 k Ω . Signál pokračuje přes vazební kondenzátor C45 do potenciometru o hodnotě 100 k Ω . Použitý potenciometr má lineární průběh, což se v nízkofrekvenční technice na nastavování zisku často nepoužívá. Ovšem pokud by tento průběh byl na závadu, lze přidáním rezistoru mezi jezdec a zem vytvořit logaritmický průběh. Jedná se o tandemové provedení potenciometru s udávaným souběhem lepším než 3 dB. Tímto potenciometrem je nastavena citlivost pro daný kanál a signál vstupuje přes rezistor do operačního zesilovače zapojeného jako sledovač signálu. Při prototypovém zapojení bylo zjištěno, že většina zařízení má vstupní signál natolik silný, že jeho další zvyšování není žádoucí. Jedná se o především oddělovací člen s možností regulace. Z výstupu operačního zesilovače se signál dostává na paralelní kombinaci rezistoru a keramického kondenzátoru. Rezistor o hodnotě 100 k Ω zajišťuje

výstupní odpor a kondenzátor C48 (a C52) omezuje přenos velmi vysokých kmitočtů do odvodu výstupního ekvalizéru. Poté je signál přiveden na svorky relé, které při sepnutí umožní stereofonnímu signálu dostat se dále do ekvalizéru (případně na výstup). Relé je opatřeno ochranou diodou, která zabráňuje zničení cívky při vypnutí předzesilovače. Sepnutí relé je ovládáno přivedením napětí na konektor. Jako blokovací kondenzátory jsou použity keramické SMD o hodnotách 100 nF, jež jsou posíleny filtračními tantalovými kondenzátory o kapacitě 47 uF. Předzesilovač je napájen ze stabilizovaného symetrického zdroje napětí $U = \pm 15\text{ V}$.

Provedení desky plošných spojů je uvedeno na obrázku 11. Jedná se o dvouvrstvou DPS vyrobenou firmou s prokovenými otvory, se zelenou nepájivou maskou a s povrchovou úpravou technologií HAL (Hot Air Levelling). V případě potřeby je zařízení navrženo tak, aby bylo možné vyměnit stávající předzesilovač za jiný (např. s kmitočtově závislou charakteristikou dle RIAA či se zesílením větším než 1).



Obr. 10 Zapojení vstupního předzesilovače



Obr. 11 Deska plošných spojů pro předzesilovač

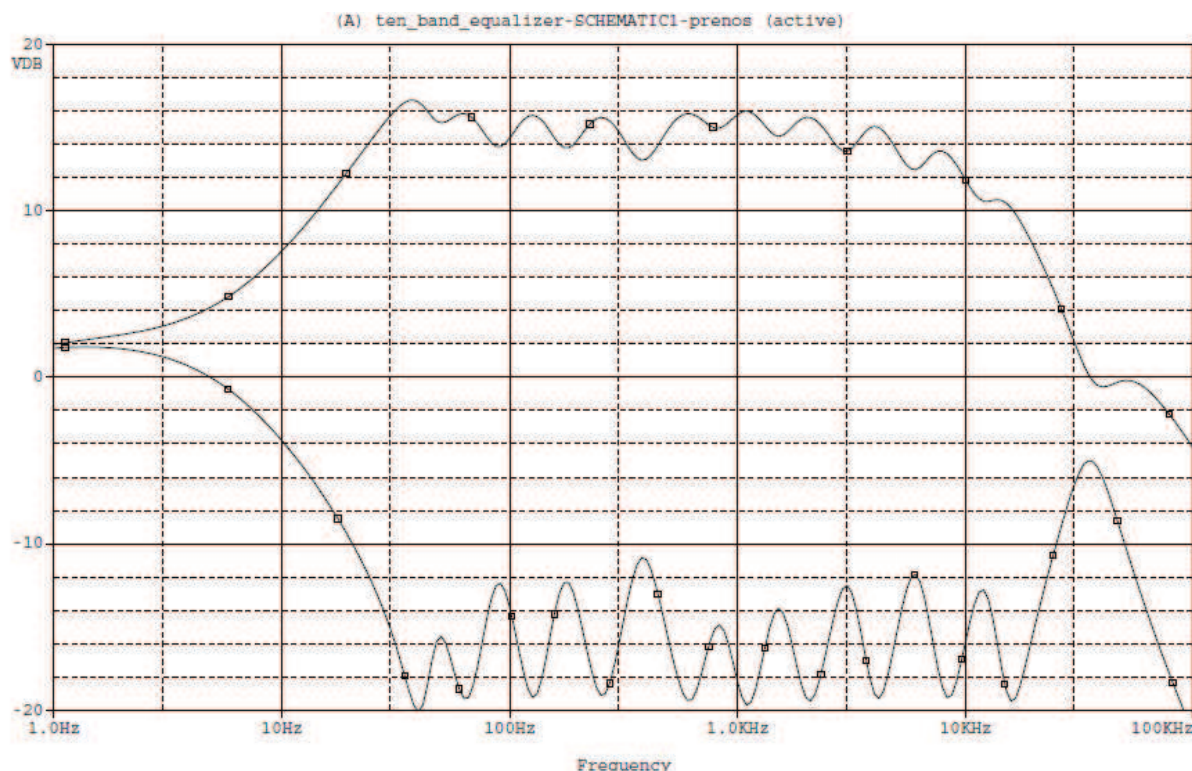
2.2 Výstupní ekvalizér

Schéma zapojení se nachází v přílohách stejně jako obrázky desek plošných spojů.

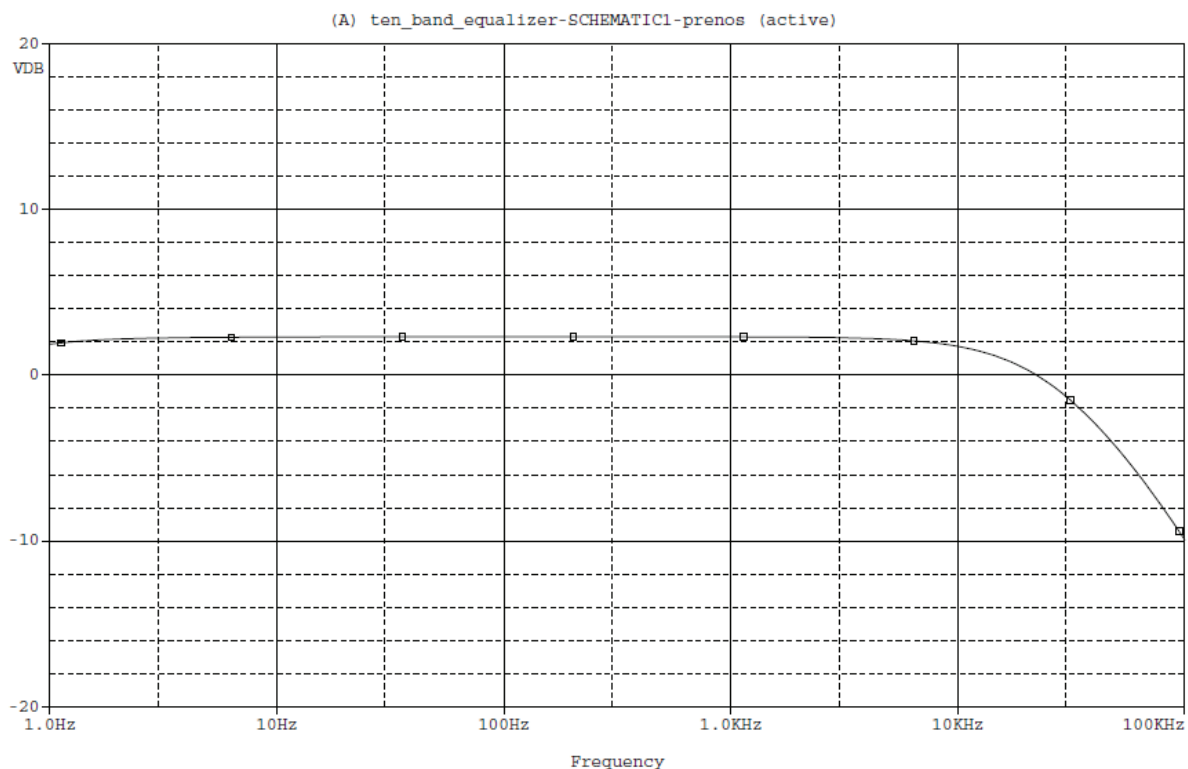
Protože je přepínačem vyloučeno sepnutí více kanálů současně, nachází se na vstupu ekvalizéru řada prokovených otvorů umožňujících zapojení všech předzesilovačů. Signál se poté dostává na jumpery, jež je možno přemostit funkcí ekvalizéru, přičemž navazující indikace vybuzení zůstane aktivní. Pokud je ekvalizér aktivní, signál se přivádí přes vazební kondenzátor a rezistor R22 do neinvertujícího vstupu výstupního sumačního zesilovače. Tento vstup je společným uzlem všech použitých tahových potenciometrů. Druhý konec odporové dráhy je opět elektricky spojen s ostatními potenciometry a je zapojen do invertujícího vstupu výstupního zesilovače. Jezdec každého potenciometru vede signál do rezonančního obvodu, tvořeného dvěma rezistory, dvěma kondenzátory a jedním operačním zesilovačem (viz kapitola 1.4.2. Hodnoty součástek určujících rezonační frekvenci a tudíž i oblast pro regulaci byly zjištěny pomocí simulací v programu OrCAD Pspice. Vztažné kmitočty jsou uvedeny také ve schématu. Signál je z výstupního operačního zesilovače vyveden na výstupní potenciometr přes vazební kondenzátor. Jako v předešlém případě jsou pro každý operační zesilovač použity tři blokové keramické kondenzátory o hodnotě 100 nF. Ve zdrojové části se také nachází pár elektrolytických kondenzátorů o velikosti 47 μ F. Zapojení disponuje také diodami znemožňující přivedení opačné polaroty napájení. Jejich funkce není jen preventivní, ale také chrání zapojení před rozkmitáním při vypínání ekvalizéru. Tato skutečnost byla

zjištěna při testování prototypové desky, kdy vlivem absence ochran byly zničeny stabilizátory zdroje. Napájení je symetrické a může být až 22 V, ale napájecí napětí je stabilizováno na hodnotě $\pm 17,2$ V.

Při návrhu DPS byly z důvodu dosažení větší přesnosti rezonanční frekvence kondenzátory zdvojeny. Simulované průběhy zobrazují následující obrázky.



Obr. 12 Simulací zjištěná korekční schopnost ekvalizéru



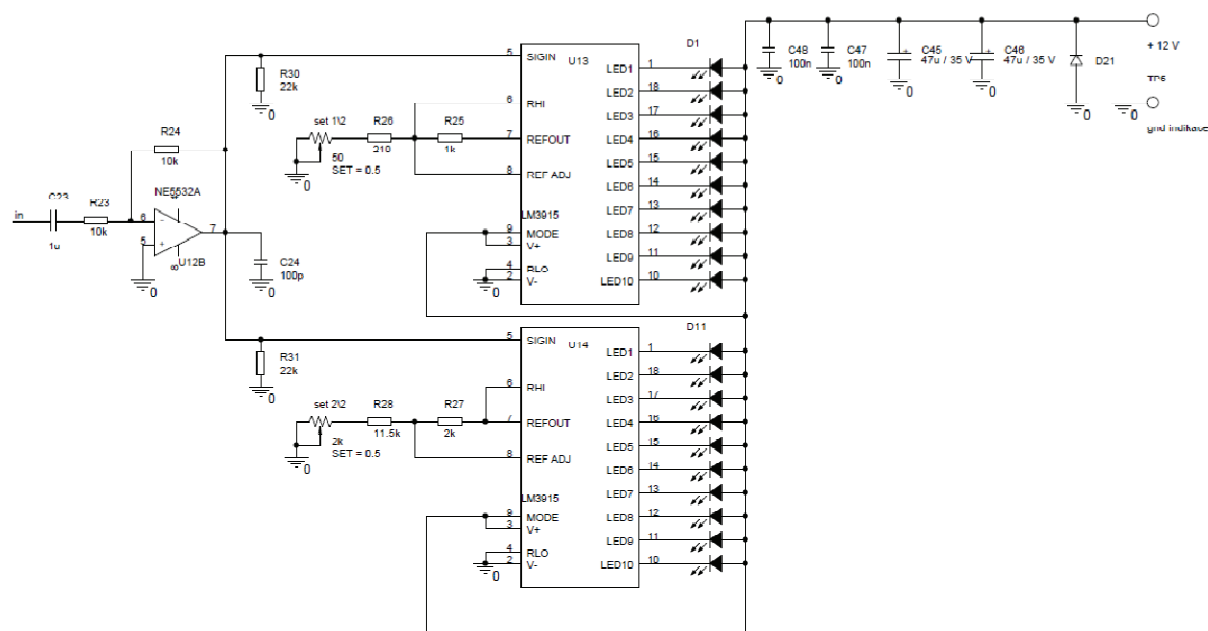
Obr. 13 Modulová frekvenční charakteristika (potenciometry ve střední poloze)

2.3 Indikace vybuzení

Zapojení využívá integrovaného obvodu LM3915 [2] firmy National Semiconductor. Tento obvod je navržen pro řízení nízkopříkonových žárovek, LCD nebo LED. Jedná se o A/D převodník s mnoha možnostmi uplatnění. Jeho vnitřní zapojení se skládá z deseti komparátorů, vstupního předzesilovače, obvodů pro nastavení rozhodovací úrovně a také pro nastavení výstupního proudu pro LED. Obvod LM3915 má logaritmický průběh, což je pro zobrazování hlasitosti výhodné (vzhledem k vnímání intenzity hlasitosti lidským uchem). Rozsvícení jedné LED znamená změnu signálu o 3 dB. Maximální rozsah jednoho integrovaného obvodu je tedy 30 dB. Obvod je schopen pracovat v širokém rozmezí napájecích napětí a to od 3 V po 35 V. Dále také umožňuje výběr mezi bodovým a sloupcovým zobrazením signálu. V mém případě byl použit sloupcový režim a konkrétní zapojení je popsáno níže.

Signál se z výstupního potenciometru dostává přes vazební kondenzátor C23 a rezistor R23 na vstup operačního zesilovače. Ten je zapojen jako invertující zesilovač s jednotkovým zesílením ($R23 = R24$). Jeho výstup slouží pro dodání signálu do kaskádně řazených dvou obvodů LM3915. Rezistory R25 a R27 slouží pro nastavení proudu LED. Rezistory R26 a R28 v kombinaci s nastavitelnými odporovými trimry zajišťují rozhodovací úrovně pro

rozsvícení prvních LED (D1 a D11). Aby měl vstupní operační zesilovač definovanou zátěž, jsou v zapojení také rezistory R30 a R31, které mají hodnotu 22 k Ω . Indikace vybuzení je napájena nesymetricky 12 V. Oba integrované obvody mají zapojený blokovací kondenzátor o hodnotě 100 nF, ve funkci filtračních kondenzátorů je zapojena dvojice elektrolytických kondenzátorů o kapacitě 47 μ F. Pokud by indikace vybuzení měla případné posluchače rušit, je možné ji vypnout. Schéma indikací vybuzení se nachází na obrázku 14. Deska plošných spojů je společná s DPS pro ekvalizér daného kanálu.



Obr. 14 Schéma kaskádové indikace vybuzení

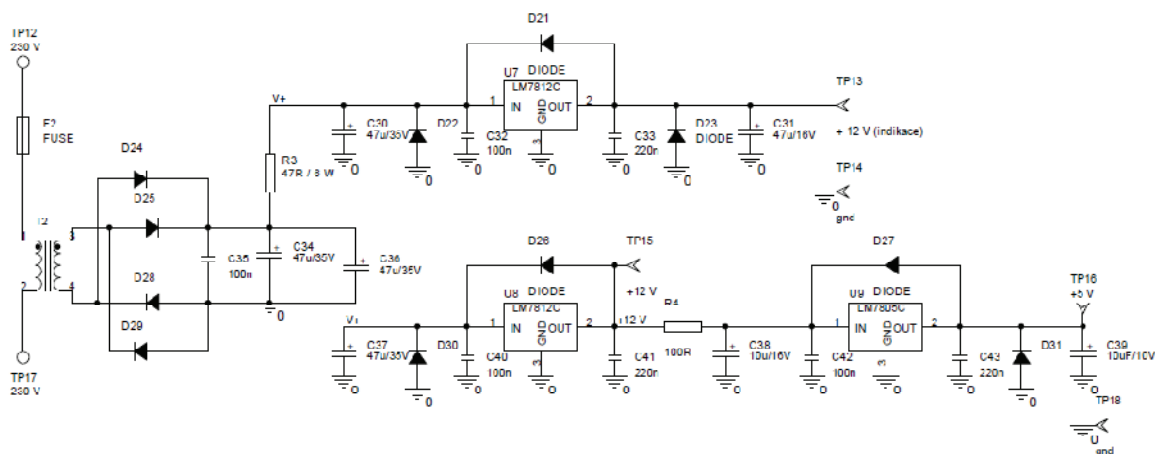
2.4 Zdroje napětí

2.4.1 Zdroj symetrického napětí

Síťové napětí 230 V je přivedeno pomocí EURO konektoru do spínače, ze kterého se dostává na desku plošného spoje. Dále je zde tavná pojistka v příslušném pouzdru a poté primární vinutí transformátoru. Protože je třeba symetrického napětí, má transformátor dvě identické sekundární vinutí. Každá z větví je dvoucestně usměrněna a přivedena na soustavu filtračních kondenzátorů. Vinutí uprostřed sekundárních cívek vytváří zemnicí potenciál pro celé zapojení. Dále je v zapojení dvojice odlehčovacích výkonových keramických rezistorů. Ty zabraňují nadměrnému zatěžování stabilizátorů napětí. V konstrukci je použito kladných stabilizátorů LM7818 a LM7815. Záporné stabilizované napětí vytváří obvody LM7918 a LM7915. V zapojení se nachází množství diod sloužících k ochraně stabilizátorů při poruše nebo při chybné manipulaci se zdrojem. Je zvoleno několik napájecích napětí, aby měl následující blok vždy vyšší napájecí napětí, než blok předchozí. Z tohoto důvodu jsou obvody ekvalizéru napájeny přes diody (výsledné napětí je $\pm 17,2$ V). Napájecí napětí předzesilovačů je ± 15 V. Schéma zapojení se nachází v přílohách.

2.4.2 Zdroj nesymetrického napětí

Primární část je zapojena jako v předešlém případě. Za sekundárním vinutí následují čtyři usměrňovací diody (opět dvoucestné usměrnění). I v tomto zapojení je využito ochranného výkonového rezistoru před vlastním stabilizátorem napětí. Tím je obvod LM7812. V zapojení se nachází ještě jeden obvod LM7812 pro vytvoření pomocného napětí 12 V a za ním následuje přes odlehčovací rezistor stabilizátor LM7805. Jeho využití bude v budoucnu pro nastavení zpoždění při změně výběru signálu nebo pro jinou aplikaci vyžadující toto napětí. Schéma zapojení je uvedeno níže na obrázku 15.



Obr. 15 Schéma zapojení zdroje 12 V a 5 V

2.5 Desky plošných spojů

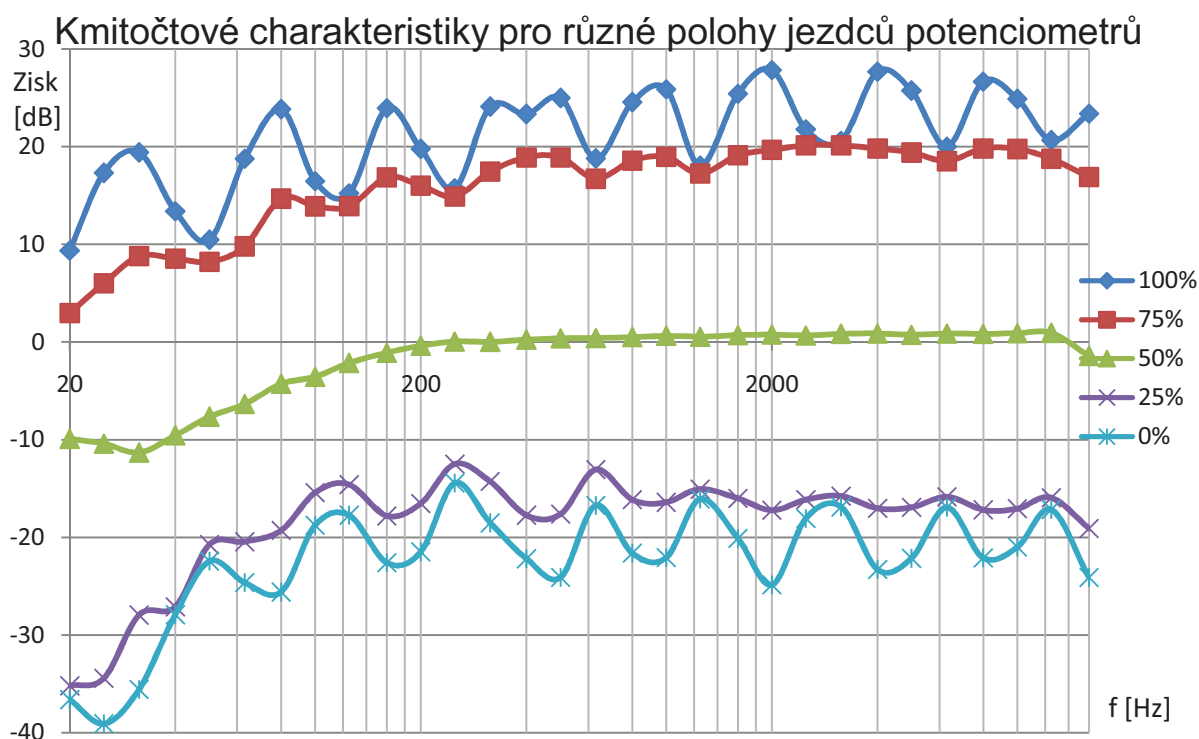
Během obhajoby semestrálního projektu bylo doporučeno, aby výrobu desek provedl profesionální výrobce. Z tohoto důvodu jsou DPS předzesilovačů a ekvalizérů vyrobeny firmou [7]. Jedná se o základní sklolaminátový materiál s epoxidovou pryskyřicí FR4 tloušťky 1,5 mm. V dnešní době je to nejpoužívanější materiál pro výrobu DPS. Je neohebný s dobrými vlastnostmi pro běžný rozsah teplot i vlhkostí. Dá se výborně obrábět ať stříhem či frézováním. Na tomto materiálu se nachází oboustranně plátovaná měď tloušťky 18 μm . Výsledná tloušťka cest je ovšem po výrobě 35 μm . Na DPS jsou prokovené otvory a na jedné straně se nachází rozlité měď pro snížení impedance a také pro snížení případného rušení (stínění). Touto technologií byly vytvořeny desky plošných spojů pro levou a pravou stranu ekvalizéru a také pro předzesilovač, který je použit celkem čtyřikrát. Obrázky jednotlivých vrstev DPS jsou umístěny v přílohách. Tyto DPS jsou vybaveny zelenou nepájkivou maskou. Pájecí plošky byly ošetřeny technologií HAL.

Desky plošných spojů pro zdroje a pro výstupní hlasitost byly vyrobeny nažehlovací metodou. Použitý materiál je také FR4 s plátovanou mědí o tloušťce 30 μm . Jedná se o jednovrstvé plošné spoje. Opracování jednotlivých desek bylo provedeno stříháním a hrany byly upraveny smirkovým papírem o hrubosti 400. Před samotným pájením součástek byl na měděný povrch použit lak, skládající se ze směsi lihu a kalafuny.

Osazování desek proběhlo ručně, stejně jako pájení. Při samotném pájení byla využita pájka ve složení Sn60Pb40. Výrobek tedy nemůže být označen logem Pbfree.

3. Měření

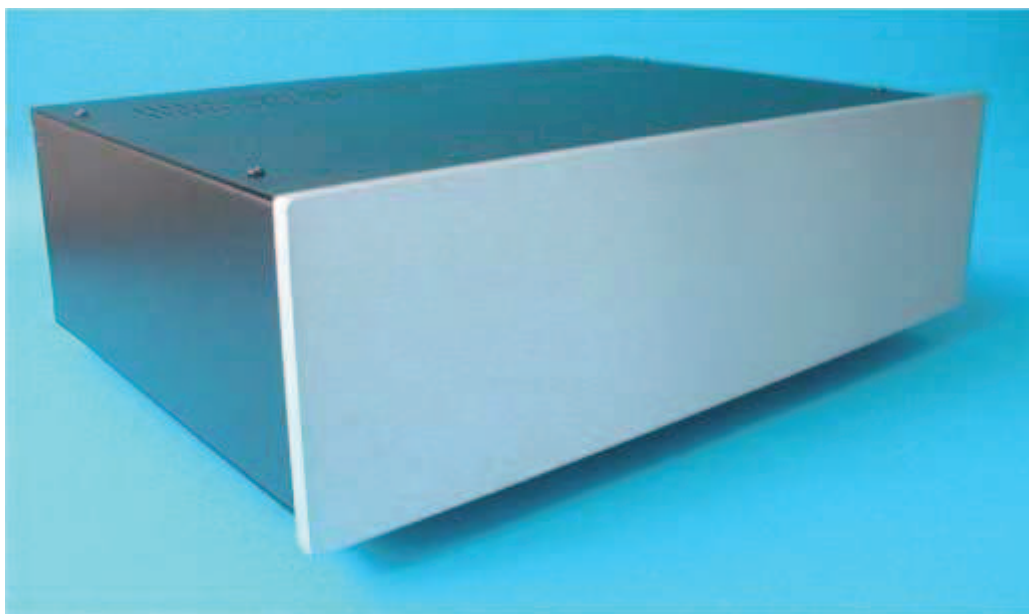
Aby bylo možné porovnat teoretické hodnoty získané ze simulací, bylo provedeno měření kmitočtové charakteristiky. Jako zdroj signálu bylo zvoleno testovací CD Stereo&Video a PC. Toto CD obsahuje modulovaný sinusový signál. Výstup byl impedančně zakončen rezistorem o hodnotě $47\text{ k}\Omega$, což je předpokládaný vstupní odpor budoucího výkonového zesilovače. Vstupní citlivost a výstupní hlasitost byla nastavena na nejvyšší možnou úroveň. Postupně byla proměřena frekvenční charakteristika pro celkem pět poloh tahových potenciometrů. Měření probíhalo od 20 Hz do 16 kHz. Střídavé sinusové napětí bylo měřeno multimetrem RIGOL (DM3051). Výstupní amplituda signálu byla kontrolována osciloskopem RIGOL (DS1022CD) aby nedocházelo k ořezávání signálů. Naměřené hodnoty se nacházejí v příloze. Výstupní charakteristiky udává obrázek 16. Z uvedených charakteristik je patrné, že signál prochází obvodem nelineárně. Oblast nízkých kmitočtů je potlačena více než se předpokládalo. Tento útlum je způsoben nevhodnou kapacitou vazebních kondenzátorů. Byly osazeny keramické kondenzátory s kapacitou $1\text{ }\mu\text{F}$ namísto hodnoty $10\text{ }\mu\text{F}$. Po této úpravě bude provedeno následné měření, s cílem ověření dosaženého zlepšení průběhu frekvenčních charakteristik.



Obr. 16 Kmitočtové charakteristiky získané z naměřených hodnot

4. Mechanické provedení

Jednotlivé komponenty uvedeného zařízení jsou umístěny do kovové přístrojové krabice [8] (obrázek 17), která je sestavena z ocelových plechů tloušťky 1,4 mm. Materiál pro čelní panel je eloxovaný hliník tloušťky 10 mm. Čelní panel je dle přiloženého výkresu (příloha ??) vyroben vrtáním a frézováním. K mechanickému upevnění DPS obou ekvalizérů slouží distanční sloupky o průměru 3 mm a příslušné slepé otvory zadní strany čelního panelu opatřené metrickým závitem. Desky plošných spojů jsou uchyceny na závitových tyčích průměru 4 mm. Jejich poloha je fixována pomocí matic M4. Zdroje napětí jsou umístěny blíže k zadnímu panelu a jejich mechanické upevnění je řešeno distančními sloupky o průměru 4 mm. Zadní panel tvoří otvory pro napájecí EURO konektor a pro pojistkové pouzdro (krabice byla v tomto stavu již dodána). Dále jsou v zadním panelu vyvrtány otvory pro konektory typu cinch. Vzájemné rozteče byly zvoleny 20 mm. Vrtání pro konektory je o průměru 8 mm. Rozměry krabice odpovídají standartu tzv. RACK (19“). Volný prostor bude v budoucnu využit pro implementaci výkonových zesilovačů a příslušných záležitostí (toroid, chladiče, vlastní zesilovač, ochrany reproduktorů...).



Obr. 17 Ukázka použité přístrojové krabice [8]

5. Závěr

Návrh elektronických obvodů uvedeného zařízení proběhl za pomoci programů OrCAD Capture, OrCAD PSpice a OrCAD Layout. Měřením frekvenčních charakteristik bylo zjištěno, že výsledná korekce signálu je možná minimálně o 10 dB. Simulované a naměřené charakteristiky se nepatrně liší. To je způsobeno použitím reálných součástek a také použitím jiného typu předzesilovače, než s jakým byly simulované průběhy vygenerovány (původní předzesilovače umožňovaly zisk kanálu až o 20 dB, což bylo v průběhu práce vyhodnoceno jako zbytečné). Měřením kmitočtového pásma bylo také dokázáno, že rezonanční kmitočty nastavené hodnotami součástek korespondují s hodnotami předpokládanými.

Návrh výkresu čelního panelu proběhl v programu AutoCAD. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, výrobek je připraven na celou řadu vylepšení. V první řadě proběhne s pomocí bipolárních tranzistorů či integrovaných obvodů 555 úprava přepínání, které pak bude zpožděné o jednu či dvě sekundy. Dále je připravená DPS pro výstupní hlasitost s výstupním relé (opožděné sepnutí výstupu). DPS ekvalizérů jsou rovněž připraveny na budoucí realizaci Besselových filtrů. Ty rozdělí frekvenční pásmo na velmi hluboké tóny (tzv. subwoofer) a na energeticky méně náročný zbytek signálu (tzv. satelity). Dělicí frekvence bude nastavena mezi 100 - 150 Hz. Celková koncepce výrobku umožňuje doplnění vícekanálového výkonového koncového zesilovače. Při této realizaci může být využito například integrovaného obvodu TDA7250 [4]. Jedná se o budič koncových tranzistorů kategorie Hi-Fi. Provedení zesilovače bude minimálně tříkanálové (1 subwoofer a 2 x satelity) či pětikanálové.

Zadání bakalářské práce bylo splněno.

6. Seznam použité literatury a zdrojů informací

[1] ALLDATASHEET.COM LMC835 [online] [28.12.2011]

URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/9134/NSC/LMC835.html>

[2] ALLDATASHEET.COM LM3915 [online] [23.9.2007]

URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8899/NSC/LM3915.html>

[3] ALLDATASHEET.COM NE5532A [online] [26.2.2009]

URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17972/PHILIPS/NE5532A.html>

[4] ALLDATASHEET.COM TDA7250 [online] [10.9.2011]

URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25076/STMICROELECTRONICS/TDA7250.html>

[5] BEČVÁŘ DANIEL, STEHLÍK JIŘÍ *Návrh analogových integrovaných obvodů*, Vysoké učení technické v Brně, 2011

[6] LUKESLE VÁCLAV *Audiosystém 2.1*, Pardubice 2008

[7] MEV.CZ [online] [1.5.2012]

URL: <http://www.mev.cz/cz/prototype-pool/>

[8] MODUSHOP.CZ [online] [2.2.2012]

URL: <http://www.modushop.cz/1NPS04P400B-4u-rack-krabice-plechova-400mm-10mm-panel-stribrny.html>

[9] NOBILIS JIŘÍ *Teorie elektronických obvodů III. (Zasilovače)*, Pardubice, 1994

[10] NOBILIS JIŘÍ *Teorie elektronických obvodů VIII. (Napájecí zdroje)*, Pardubice, 2000

[11] SIEGFRIED WIRSUM *Abeceda NF TECHNIKY*, Praha, 2003

ISBN: 80-86056-26-0

7. Seznam příloh

1. Desky plošných spojů
2. Rozpiska součástek
3. Kompletní obvodové schéma
4. Výkres čelního panelu
5. Graf – Kmitočtová charakteristika
6. Tabulky s naměřenými a vypočtenými hodnotami